

# **Discusión sobre el registro Proterozoico y Permo-Triásico en los Andes de Colombia**

Autor: Juan Diego Montoya Arredondo

Director: Camilo Bustamante Londoño

## **Resumen**

La reciente proliferación de edades U-Pb en rocas del basamento Proterozoico y Permo-Triásico en Colombia, ha propiciado la reformulación de los modelos tectónicos en Colombia y de la distribución de terrenos tectonoestratigráficos. Edades obtenidas entre 293 y 234 Ma para las unidades de la Cordillera Central como; el Complejo Cajamarca, los Neises y Anfibolitas de Tierradentro, el stock de Rovira, el Neis de Palmas, el Neis de Abejorral y otros cuerpos que conforman el basamento de esta cordillera, muestran que estas fueron formadas durante la conformación de Pangea en el Permo-Triásico. Esta información geocronológica también ha permitido definir que las rocas Grenvilianas se localizan en la Península de la Guajira, en la Sierra Nevada de Santa Marta, en la Serranía San lucas y en los macizos de Garzón y Santander. La concepción de un basamento Permo-Triásico de la Cordillera Central tendría implicaciones paleogeográficas y sugeriría una posible redefinición del límite entre varios de los terrenos propuestos por diferentes autores recientemente; además de invalidar el concepto del “cinturón Granulítico Garzón-Santa Marta”, definido como un cinturón Proterozoico que incluiría la Cordillera Central.

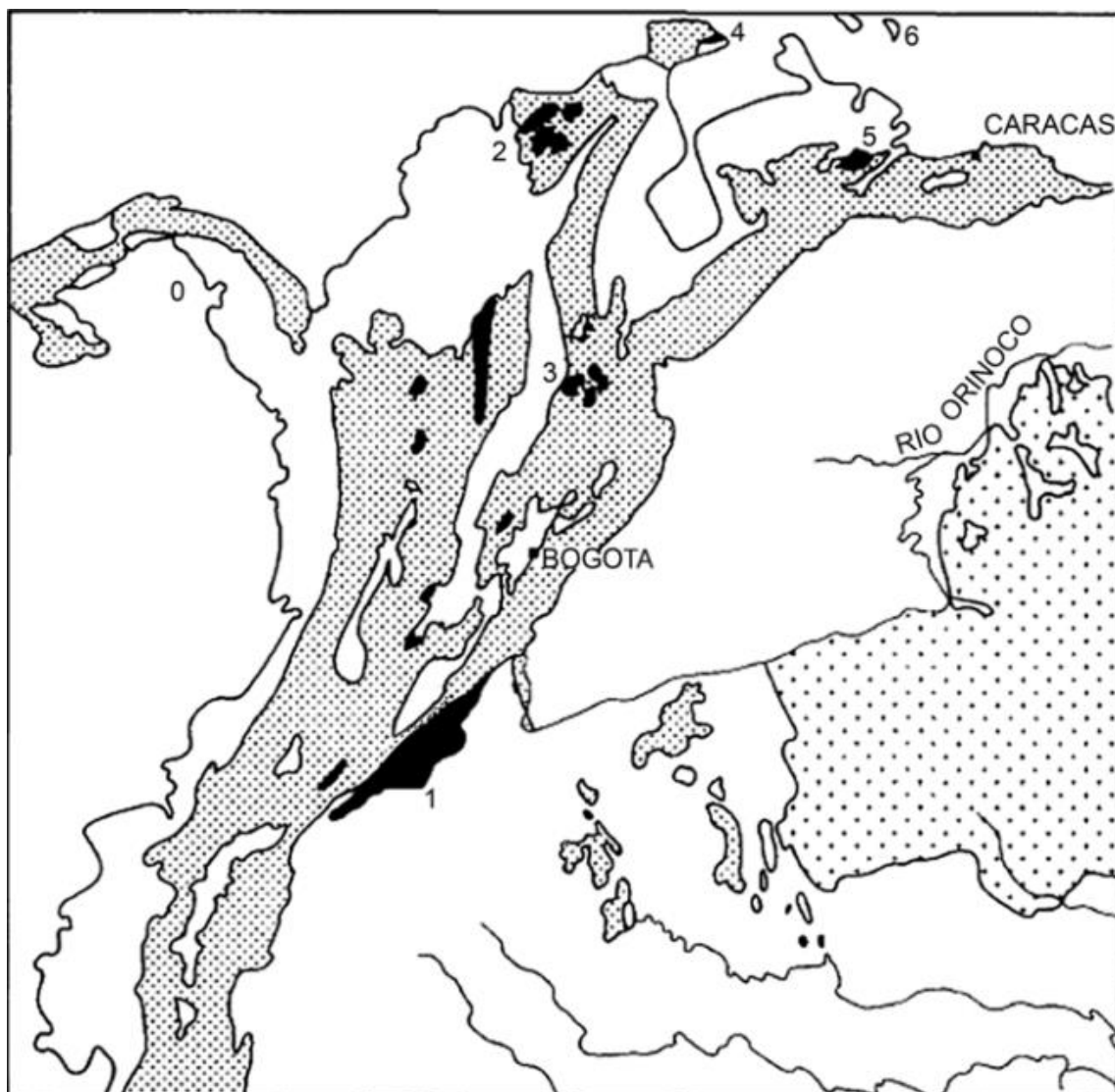
## 1. Introducción

La orogenia Grenville fue un evento orogénico que ocurrió entre ~1300 y 1000 Ma. durante el Proterozoico (McLelland et al., 2010); ocasionado por la colisión entre los continentes Laurentia y Amazonia, durante la conformación del supercontinente Rodinia (Tohver et al., 2004). Los remanentes de este evento colisional se han reconocido desde Norte América (McLelland et al., 2010), Escocia e Irlanda (Rivers, 1997) y Sur América (Fuck et al., 2008).

A pesar de la sofisticación en los métodos radiométricos para detallar mejor este evento orogénico, su entendimiento en cuanto a la temporalidad y las condiciones geodinámicas de su origen no es muy claro en algunas zonas, especialmente en los Andes del Norte, debido a que las rocas que conforman estos orógenos no están expuestas con regularidad (Mosher et al., 2008), en comparación con las provincias de Grenville en Canadá y Blue Ridge en Estados Unidos (McLelland et al., 2010), las cuales están mejor estudiadas y permitieron desarrollar un modelo de evolución de esta orogenia, la cual consta de varios pulsos: El pulso *Ottawan* interpretado como estilo Andino y de acreción de terrenos, y que marca la transición a los pulsos *Elzevirian* y *Shawinigan* de un estilo tipo Himalaya, de colisión tipo continente-continente (McLelland et al., 2013).

En América del sur se ha planteado la continuidad del basamento de edad Grenvilliana (~1,3 a 1,0 Ga) en la margen occidental del continente (Ramos, 2010), junto con el terreno Oaxaca en América Central (Yáñez et al., 1991). Mientras que en Colombia se planteó que este basamento constituiría un cinturón que abarcaría el Macizo de Garzón, el flanco oriental de la Cordillera Central y la Sierra Nevada de Santa Marta, agrupados en lo que se denominó como el Cinturón Granulítico Garzón-Santa Marta (Figura 1) (Kroonenberg, 1982). Dicha correlación inicial con la provincia Grenville estaba basada en similitudes geocronológicas, principalmente por dataciones obtenidas por los métodos Rb-Sr y K-Ar, por correlaciones litológicas y al similar grado metamórfico que presentan varias rocas a lo largo de los Andes (Álvarez & Cordini 1980; Kroonenberg, 1982). Sin embargo, los datos más precisos, específicamente U-Pb en circones, han permitido identificar con mayor certeza, que el basamento Grenvilliano en Colombia está localizado en la Península de

la Guajira, la Sierra Nevada de Santa Marta y los macizos de Santander y Garzón (Figura 1) (Restrepo-Pace et al., 1997; Cordani et al., 2005; Ordoñez et al., 2006; Bustamante et al., 2017). A pesar de esto, aún existen modelos tectónicos sobre el Precámbrico en Colombia que incluyen en este cinturón Grenvilliano a la Cordillera Central (Kroonenberg, 2019), lo cual tiene implicaciones en la historia tectónica de Colombia y en la distribución de terrenos tectonoestratigráficos propuestos por diferentes autores (Restrepo & Toussaint, 1988; Toussaint, 1996; Restrepo y Toussaint, 2020; Cediél, 2019; Moreno et al., 2020).



*Fig 1. Afloramientos Grenvillianos en Colombia:(1) Macizo de Garzón, (2) Sierra Nevada de Santa Marta, (3) Macizo de Santander, (4) Guajira, (5) ocurrencias en Venezuela, (6) San Lucas (Kroonenberg 1982).*

El objetivo de este trabajo es hacer una compilación de datos geocronológicos recientes disponibles del basamento de la Cordillera Central, principalmente de U-Pb en circón, con el fin de hacer un análisis integrado sobre su edad, y comprobar la validez de algunos modelos tectónicos que sugieren grandes extensiones de basamento Proterozoico en los Andes de Colombia (e.g. cinturón Granulítico Garzón-Santa Marta: Kroonenberg, 2019; terreno Chibcha: Moreno et al., 2020). Además de analizar las implicaciones que esto tiene para la paleogeografía y la tectónica de terrenos en Colombia.

## **2. Contexto tectónico regional**

A gran escala, la geología de Colombia está caracterizada por la presencia del Cratón Amazónico y las cordilleras Oriental, Central y Occidental (Figura 2). El Cratón Amazónico es la unidad Precámbrica más grande de Sur América, cubriendo gran parte del noroeste del continente (Cordani et al., 1979; Santos, 2003). Esta unidad fue formada por diferentes eventos de acreción, por lo que ha sido definida por varios autores en diferentes provincias (Cordani et al., 2009; Kroonenberg 2019; Santos et al., 2000). En el noroeste de Colombia aflora parte de este cratón (~1.86–1.70 Ga), la definida provincia de Rio Negro-Juruena, compuesta principalmente por neises, granitoides, migmatitas y granitos tipo A, resultado de múltiples eventos de compresión y extensión (Tassinari y Macambira, 1999). También es importante mencionar la provincia Sunsás, ubicada al occidente del Cratón, caracterizada por zonas de cizalla y milonitización y por rocas de bajo-medio grado de metamorfismo (Litherland and Power, 1989). Esta provincia fue metamorfoseada durante la orogenia Grenville (1.33–1.00 Ga), por lo que ha sido relacionada con el Macizo de Garzón en Colombia; proponiendo un origen autóctono de este macizo con respecto a la provincia Sunsás (Ibáñez-Mejía et al., 2011).

Al occidente del Cratón, se encuentra la Cordillera Oriental, un activo cinturón cabalgado de doble vergencia (Siravo et al., 2019) formado por la inversión y acortamiento de cuencas de back-arc durante el Jurásico temprano al Cretácico (Mora et al., 2010a) debido a una deformación transpresional relacionada con la Orogenia Andina (Higgs, 1997). Posteriormente durante el Mioceno medio al

Pleistoceno se dio el mayor pulso de levantamiento de esta Cordillera a causa de la colisión del arco de Panamá-Baudó con la margen occidental de Sur América (Duque-Caro,1990). Rocas metamórficas de bajo grado conforman el basamento, como el macizo de Garzón (Ramírez et al., 2012); además de rocas formadas en un sistema de rift invertido luego de la ruptura de Pangea, que se encuentran cubiertas por sedimentos marinos Mesozoicos y continentales Cenozoicos (Bayona et al., 2013). Separada por el río Magdalena, se encuentra la Cordillera Central, un arco volcánico generado por la subducción de la placa de Nazca bajo el noroccidente de Sur América (Ordóñez-Carmona et al., 2006; Vinasco et al., 2006). Su basamento pre-Mesozoico está constituido por rocas metamórficas de bajo a alto grado de metamorfismo (Maya and González, 1995; González, 2001) el cual es intruido por diques basálticos metamorfoseados y rocas plutónicas Jurásicas (Leal-Mejía et al., 2011; Bustamante et al., 2010; 2017; Rodríguez et al., 2017). Separada por la depresión Cauca-Patía se encuentra la Cordillera Occidental, una serie de rocas máficas y ultramáficas alóctonas de afinidad oceánica, y que fueron acrecionadas durante el Mesozoico (Villagómez et al., 2011a; Villagómez et al., 2013).

Finalmente, es importante mencionar la Sierra Nevada de Santa Marta, un macizo triangular ubicado al norte de Colombia (Tschanz et al., 1974). Esta unidad es dividida en 3 provincias: Santa Marta, Perijá y Sevilla (Tschanz et al., 1974). La provincia Perijá se compone de esquistos Precámbricos, cubiertos por rocas clásticas metamorfoseadas débilmente, también contiene rocas Paleozoicas y Mesozoicas, como calizas y areniscas y conglomerados (Tschanz et al., 1974). La provincia Sevilla está constituida por anfibolitas, migmatitas, esquistos micáceos; por último, la provincia Santa Marta consta de un basamento Grenvilliano granulítico, además de un cinturón Cretácico de esquistos verdes. (Cardona et al., 2010b; Cordani et al., 2005).

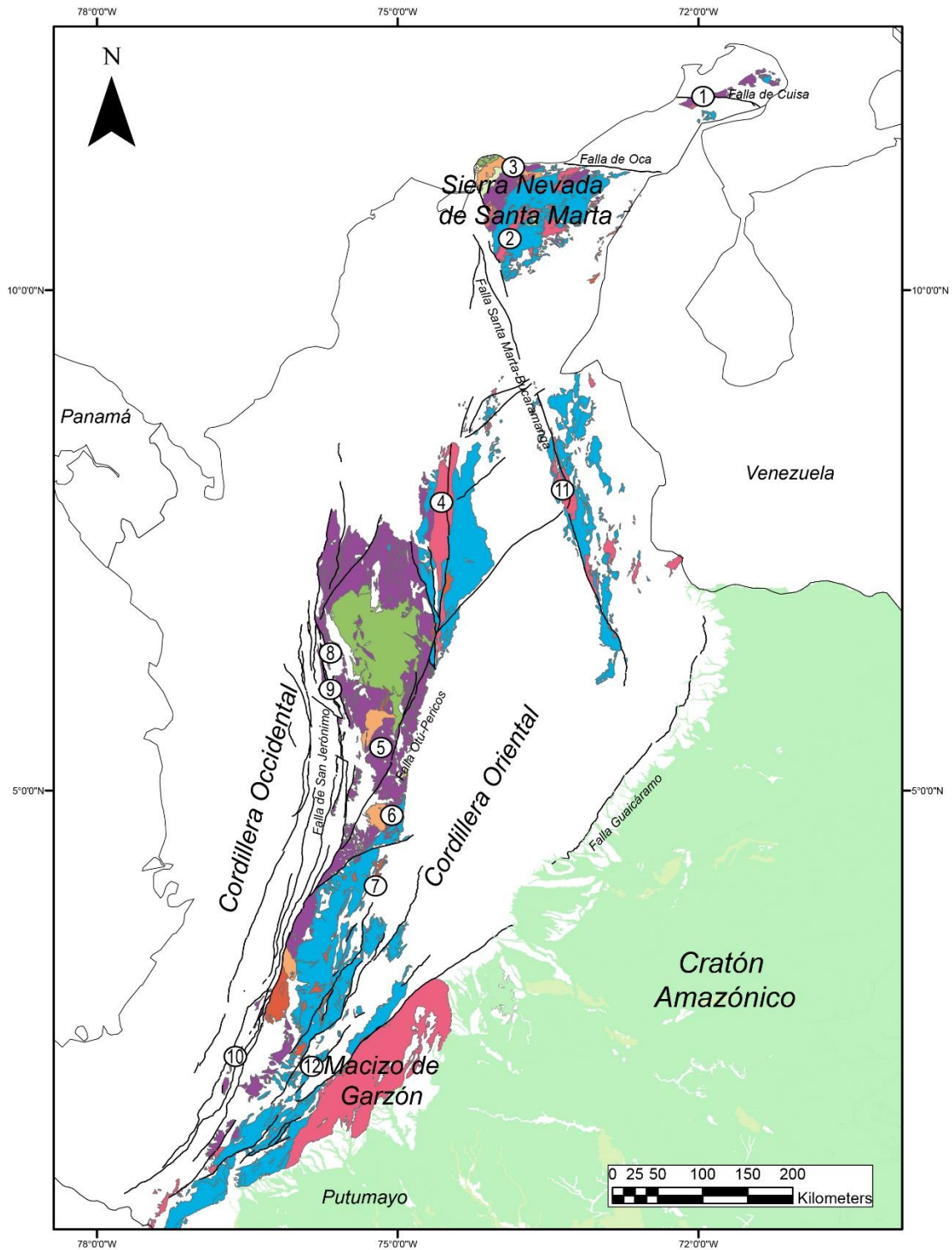


Fig 2 Mapa geológico de Colombia. (1) Neis Jojoncito, (2) Las Granulitas de los Mangos, (3) Neis de Buriticá, Neis de los Muchachitos, (4) Serranía de San Lucas, (5) Complejo Cajamarca, (6) Complejo Tierradentro, (7) Stock de Rovira, (8) Neis de Palmas, (9) Stock de Amagá, (10) Granito La Plata, (11) Neis de Bucaramanga y (12) Macizo de las Minas.

## **2.1. El Cinturón Granulítico Garzón Santa Marta**

El macizo de Garzón lo componen rocas Precámbricas, principalmente series de granulitas bandeadas, neises, granulitas máficas y ultramáficas, granulitas metapelíticas, anfibolitas, cuarcitas y rocas calcosilicatadas; estas rocas presentan principalmente texturas de bandeamiento de escala diferente, desde centímetros a decímetros que tienen un origen migmatítico y presentan la paragénesis característica de las facies de granulita que consta de cuarzo, +plagioclasa+clinopiroxeno+ortopiroxeno. Otra característica que indica la facies de granulita para este grupo de rocas, es la presencia de espinela y ortopiroxeno en los leucosomas, mientras la presencia de silimanita y la ausencia de cordierita indican presiones intermedias y unas temperaturas entre 680-820°C y en algunas zonas de 900-1000°, alcanzando condiciones de ultra alta temperatura (Kroonenberg, 1982). En cuanto al metamorfismo se sugiere progrado por las inclusiones de hornblenda en piroxenos, sin embargo, rocas ubicadas a la periferia del macizo de Garzón no presentan ortopiroxeno, lo que indicaría condiciones de presión y temperatura más bajas, posiblemente en facies anfibolita. Por otro lado, las rocas encontradas en la Sierra Nevada de Santa Marta, también Precámbricas, consta de granulitas cuarzosas, granulitas intermedias, máficas y ultramáficas que presentan bandeamiento y algunas son migmatitas; las cuales sufrieron condiciones de presión de 6.0-7.6 Kbar y unas temperaturas de 760-810° C, en la transición de facies anfibolita-granulita. (Kroonenberg, 1982).

Por lo tanto, de acuerdo con la similitud en cuanto las edades radiométricas Rb-Sr (~1180-1300 Ma), K-Ar (~925-940Ma), paragénesis mineral, milonitización y condiciones de metamorfismo de las granulitas de la Sierra Nevada de Santa Marta y del macizo de Garzón, se propuso la existencia de un único cinturón Proterozoico, ubicado en los Andes del Norte, y que incluye rocas metamórficas del flanco oriental de la Cordillera Central (Kroonenberg 1982). El origen de este cinturón está relacionado con la provincia de Grenville, en donde un evento de colisión entre los continentes de Laurentia y Amazonia hace ~ 1200 Ma afectó el flanco occidental del escudo de Guyana y el flanco oriental del escudo Canadiense con la suficiente energía para que estas rocas pudieran alcanzar las facies de granulita (Kroonenberg 1982; 2019).

De este evento colisional resultó en el continente Amazonia, el cinturón Garzón-Santa Marta y en el continente Laurentia, la provincia de Grenville, al margen oriental del escudo Canadiense; esta provincia tiene una longitud de 2000 Km y una amplitud de 600 km que presenta dominios de roca que se metamorfosearon en condiciones de facies anfibolita-granulita con presiones variables por encima de 1,0 Gpa. La formación de la provincia Grenville se describe en 2 etapas, un escenario de margen activo de ~1.8-1.2 Ga y una posterior colisión continental durante la propia Orogenia Grenville (Hynes and Rivers, 2010).

### **3. Metodología**

Se realizó una compilación de datos geocronológicos recientes, de edades Precámbricas y Permo-Triásicas disponibles de la Cordillera Central de Colombia, la Sierra Nevada de Santa Marta y el Macizo de Garzón principalmente de U-Pb en circón obtenidas por los métodos de SHRIMP y LA-ICP-MS. Esta información fue recolectada de artículos previos de Bustamante et al. (2017), Cardona et al. (2010), Cochrane et al. (2014b), Cordani et al. (2005), Cuadros et al. (2014), Ibáñez-Mejía et al. (2011), Jiménez Mejía et al. (2006), Leal-Mejía (2011), Martens et al. (2014), Martínez (2007), Paul et al. (2018), Restrepo et al. (2011), Rodríguez et al. (2017), Rodríguez-García et al (2019), Villagómez et al. (2011), Vinasco et al. (2006).

Se escogió el método U-Pb en circón, porque es un método que permite identificar la temperatura de cristalización de las rocas, además porque tiene la temperatura de cierre superior (800° C) al sistema K-Ar y el Ar-Ar en micas y anfíboles; por lo que se considera un sistema blindado con respecto a las perturbaciones térmicas como intrusiones; asimismo de la amplia distribución de este tipo de edades que existen actualmente que permiten tener una base de datos más completa (Harley & Kelly, 2007).

No se consideraron dataciones realizadas por otros métodos como K-Ar, porque en este, el sistema puede reiniciarse dependiendo del mineral donde sea obtenida (en anfíboles a 500° C, en micas 350° C) y también porque los resultados obtenidos mediante este método pueden ser susceptibles a variaciones en el contenido de potasio y argón, producto de la meteorización



sufrida por la plagioclasa en las rocas muestreadas (Ozawa et al., 2005; Yamasaki et al., 2011).

Los resultados se agruparon en rocas con edades Precámbricas y rocas con edades Permo-Triásicas, y se distribuyeron en bloques: el bloque Sierra Nevada de Santa Marta, bloque Macizo de Garzón, bloque Macizo de Santander y el Bloque de Cordillera Central; cada uno de estos con la descripción de las principales litologías y características geológicas

Finalmente se realizó un mapa ubicando geográficamente los datos geocronológicos compilados, esto se hizo siguiendo el modelo brindado por el Servicio Geológico Colombiano (2015). Sin embargo, algunas edades no tenían las coordenadas exactas de donde fueron tomadas, por lo tanto, su ubicación en el mapa es aproximada.

## 4. Resultados

### 4.1. Edades U-Pb Precámbricas en Colombia

Las unidades Precámbricas en Colombia, determinadas a partir de geocronología U-Pb en circones se encuentran en la Guajira y la Sierra Nevada de Santa Marta (Cardona et al., 2010), el Macizo de Santander (Cordani et al., 2005), el extremo norte de la Cordillera Central, en la Serranía de San Lucas (Cuadros et al., 2014), los Macizos de Garzón y las Minas, además del basamento de la cuenca *foreland* del oriente colombiano (Figura 3) (Ibáñez et al., 2011). Estas rocas son principalmente granulitas, neises y migmatitas. A continuación, se hace una breve descripción de las principales litologías y las edades compiladas en este trabajo (Tabla 1).

Tabla 1. Edades U-Pb del Precámbrico en Colombia

Unidad	Litología	Edad U-Pb (Ma)	Autor
Apaporis	Monzogranito	1530 ± 21	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Apaporis	Sienogranito	1578 ± 27	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Apaporis	Sienogranito	1593 ± 06	Ibáñez-Mejía et al. (2011)

Araracuara	Sienogranito	1732 ± 17	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Caquetá y Vaupés, Araracuara	Sienogranito	1756 ± 08	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Complejo de Garzón	Neis	1000	Jiménez Mejía et al. (2006)
Complejo de Garzón	Granulita	1000	Jiménez Mejía et al. (2006)
Complejo de Garzón	Migmatita	1000	Jiménez Mejía et al. (2006)
Garzón, Neis de Guapotón	Neis-augen	990 ± 08	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Neis de Bucaramanga	Neis	1173 ± 19	Cordani et al. (2005)
Neises de la Macarena	Milonita félsica	1461 ± 10	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Grupo Garzón	Neis metasedimentario	992 ± 08	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Grupo Garzón	Granulita	992±5	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Guajira, Neis Jojoncito	Neis	1275 ± 35	Cordani et al. (2005)
Macizo de las Minas	Neis-augen	990 ± 07	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Macizo de las Minas	Neis félsico	1005 ± 23	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Macizo de las Minas	Neis máfico	972 ± 12	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Putumayo	Anfibolita	1019 ± 08	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Putumayo	Migmatita metasedimentaria	1046 ± 23	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Putumayo	Migmatita	986 ± 17	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
Putumayo	Diatexitá metasedimentaria	989 ± 11	Ibáñez-Mejía et al. (2011)
San Lucas	Neis-granito	1042 ± 27.1	Cuadros et al. (2014)
San Lucas	Neis-granito	1223.4 ± 32.5	Cuadros et al. (2014)
San Lucas	Metamonzogabro	1277 ± 28.8	Cuadros et al. (2014)
San Lucas	Neis-granito	1310 ± 20.7	Cuadros et al. (2014)
San Lucas	Metamonzogabro	1344.1 ± 22	Cuadros et al. (2014)
Santa Marta, Gneis Dibulla	Neis	1381 ± 22	Cordani et al. (2005)
Santa Marta, Granulita Los Mangos	Paraneis	1174 ± 9.8	Cardona et al. (2010)
Vaupés	Monzogranito	1574 ± 10	Ibáñez-Mejía et al. (2011)

#### 4.1.1. Sierra Nevada de Santa Marta y península de la Guajira

La Sierra Nevada de Santa Marta es un bloque de corteza elevado ubicado al norte de Colombia, entre los departamentos de Guajira, Magdalena y Cesar (Figura 2). Este cuerpo está limitado por 2 sistemas de fallas: la falla Oca al norte, una falla de rumbo dextral; la falla siniestral Santa Marta-Bucaramanga al

oeste y al este por el lineamiento Cesar (Tschanz et al., 1974; Montes et al., 2010). Rocas de facies anfibolita-granulita han sido reportadas en las Granulitas de Los Mangos y el neis de Dibuya, en el macizo de Santa Marta (Tschanz et al., 1974) y corresponden a neises félsicos a intermedios, paragneis pelítico y rocas calcosilicatadas (Tschanz et al., 1974). Las edades U-Pb obtenidas en las Granulitas Los Mangos por Cordani et al. (2005), interpretadas como edades de cristalización, varían entre 996 hasta 1372 Ma y en el neis de Dibuya por Cordani et al. (2005) y Restrepo-Pace et al. (1997) entre 1500 y 980 Ma. Las rocas cuarzo feldespáticas de grano fino-medio del neis Jojoncito conforman el basamento de la península de la Guajira (Cordani et al., 2005). Las edades U-Pb obtenidas en esta unidad obtenidas por Cordani et al. (2005) varían entre 1200 y 1550 Ma y son interpretadas como edades de cristalización (Figura 2)

#### **4.1.2. Macizo de Santander**

El macizo de Santander se encuentra localizado sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental (Figura 2) y está constituido por rocas ígneas, metamórficas y en menor medida rocas sedimentarias (Cordani et al., 2005). Gran parte del basamento del macizo de Santander lo conforma el gneis de Bucaramanga; este está compuesto por una secuencia de paragneis de silimanita, cordierita y granate con algunas intercalaciones de caliza (Ward et al., 1973). Las edades U-Pb obtenidas por Cordani et al. (2005), interpretadas como edades de metamorfismo, varían entre 1500 a 1040 Ma. (Figura 2).

#### **4.1.3. Serranía de San Lucas**

La serranía de San Lucas es un bloque tectónico ubicado al norte de la Cordillera Central, está limitada por la falla Otú al occidente, depósitos del río Magdalena al este, la falla Cimitarra al sur y por la falla Espíritu Santo al norte (Figura 2) (Rodríguez-García et al., 2019). Consiste en un basamento metamórfico Mesoproterozoico que incluye neises cuarzo feldespáticos, anfibolitas y lentes de calizas (Cuadros et al., 2014; Feininger et al., 1972). Estas rocas están cubiertas por sedimentos Paleozoicos de la Formación la Cristalina. Las edades U-Pb obtenidas por Cuadros et al. (2014), interpretadas como edades de metamorfismo varían entre 1042 a 1344 Ma y de cristalización de  $1310 \pm 20.7$  Ma. (Figura 2).

#### **4.1.4. Macizos de Garzón y las Minas**

El macizo de Garzón está ubicado al suroeste de la Cordillera Oriental de Colombia, y está limitado tanto este como al oeste por sistemas de fallas de cabalgamiento, las cuales son las responsables de su elevación a finales del Plioceno (Figura 2) (Jiménez-Mejía et al., 2006; Kroonenberg & Diederix, 1992). Este macizo ha sido dividido en 4 unidades litoestratigráficas. Las Migmatitas las Margaritas, ubicadas al este del macizo y compuesta por neises metasedimentarios y migmatitas; Las Granulitas el Vergel, ubicadas al occidente, compuesta por granulitas félsicas y paragneis granatíferos; el Neis del Recreo, y los ortoneises de Guapotón-Mancagua, ubicados a la margen occidental de macizo y comprenden principalmente neises anfibólicos (Kroonenberg, 1982; Restrepo-Pace et al., 1997). Las edades U-Pb obtenidas por Jiménez-Mejía et al. (2006), interpretadas como edades de metamorfismo fueron de 1000 Ma para las muestras tomadas de las localidades de Guatapón-Mancagua, las granulitas de Vergel y las migmatitas de Las Margaritas. Edades similares fueron obtenidas por Ibáñez-Mejía et al. (2011) que varían entre 990 a 992 Ma. (Figura 3).

El macizo de las Minas se ubica al occidente del macizo de Garzón (Figura 2), limitado a ambos flancos por fallas inversas (Mojica et al., 1987). Este macizo tiene un basamento metamórfico de alto grado cubierto por una secuencia sedimentaria de la Formación el Hígado (Mojica et al., 1987). Las edades U-Pb obtenidas por Ibáñez-Mejía et al. (2011), interpretadas como edades de metamorfismo varían entre 972 a 1005 Ma. (Figura 2).

#### **4.2. Edades U-Pb Permo-Triásicas en Colombia**

Las rocas Pérmicas y Triásicas en Colombia se distribuyen de forma similar que las Precámbricas (Figura 3). Sin embargo, éstas están presentes en mayor abundancia a lo largo de la Cordillera Central, contrario a lo que se puede observar con el Precámbrico, que sólo ha sido datado con precisión en la Serranía de San Lucas. Corresponden principalmente a orto y paraneises, granitos tipo-I (Pérmico), anfibolitas, migmatitas y granitos tipo S (Triásico). A continuación, se presenta una descripción de las principales litologías Permo-Triásicas y las edades compiladas en este trabajo (Tabla 2).

Tabla 2. Edades U-Pb Permo-Triásicas en Colombia

Unidad	Litología	Edad U-Pb (Ma)	Autor
Abejorral	Neis	250 ± 10#	Vinasco et al. (2006)
Amagá	Granito	227.6 ± 4.5	Vinasco et al. (2006)
Anfibolita de Santa Elena	Anfibolita	239.7 ± 2.4	Cochrane et al. (2014b)
Complejo Cajamarca	Cuarcita	231–1163	Villagómez et al. (2011)
Complejo Cajamarca	Metagranito	234.1 ± 1.2	Cochrane et al. (2014b)
Complejo Cajamarca	Metagranito	236.1 ± 3.3	Cochrane et al. (2014b)
Complejo Cajamarca	Neis	236.2 ± 6.3	Villagómez et al. (2011)
Complejo Cajamarca	Metagranito	236.4 ± 1.8	Cochrane et al. (2014b)
Complejo Cajamarca	Paraneis	238–582	Villagómez et al. (2011)
Complejo Cajamarca	Pegmatita	240.9 ± 1.5	Cochrane et al. (2014b)
Complejo Cajamarca	Metagranito	240.9 ± 1.5	Cochrane et al. (2014b)
Complejo Cajamarca	Metagranito	244.6 ± 2.4	Cochrane et al. (2014b)
Complejo Cajamarca	Metagranito	245.0 ± 2.0	Cochrane et al. (2014b)
Complejo Icarco	Metatonalita	277.8 ± 2.2	Rodríguez-García et al (2019)
El Encanto	Ortoneis	274.8 ± 2.1	Piraquive (2017)
El Picacho	Plagiogranito	216.6 ± 0.4	Martínez (2007)
Esquisto Gaira	Esquisto	261.4 ± 2.6	Piraquive (2017)
Esquisto Gaira	Esquisto-granate	283.7 ± 6.1	Piraquive (2017)
Neis de las Palmas	Neis	244 ± 2	Martens et al. (2014)
Neis de Palmitas	Neis	240 ± 4#	Vinasco et al. (2006)
Granito La Plata	Monzogranito	269.0 ± 3.0	Rodríguez et al. (2017)
Granito La Plata	Granito	270.0 ± 2.7	Rodríguez et al. (2017)
Granito La Plata	Cuarzo monzonita	272.0 ± 6.8	Rodríguez et al. (2017)
Granito La Plata	Monzogranito	273.2 ± 4.1	Rodríguez et al. (2017)
Granito La Plata	Monzogranito	274.8 ± 2.3	Rodríguez et al. (2017)
Granito La Plata	Sienogranito	277.9 ± 2.1	Rodríguez et al. (2017)
Granito Ortega	Granodiorita	264.7 ± 1.2	Rodríguez-García et al (2019)
Granito Ortega	Granito	274.0 ± 2.3	Rodríguez-García et al (2019)
Granito Ortega	Dique de tonalita	277.6 ± 2.4	Rodríguez-García et al (2019)
Granito Ortega	Tonalita	280.1 ± 2.0	Rodríguez-García et al (2019)
Granito Ortega	Tonalita	280.5 ± 2.3	Rodríguez-García et al (2019)
La Secreta	Meta-toba	224.6 ± 2.6	Piraquive (2017)
La Secreta	Gabro	237.4 ± 1.1	Piraquive (2017)
Las Palmas	Paraneis	237 ± 2	Martens et al. (2014)
Nechí	Neis	236.4 ± 6.6	Restrepo et al. (2011)
Palmas	Migmatita	222 ± 10#	Restrepo et al. (2011)
Rovira	Metagranito	253.0 ± 2.9	Paul et al. (2018)
Rovira	Metagranito	255.7 ± 1.5	Cochrane et al. (2014b)

Rovira	Metagranito	275.8 ± 1.5	Cochrane et al. (2014b)
Rovira	Metagranito	277.6 ± 1.6	Cochrane et al. (2014b)
San Lucas	Granodiorita	181 ± 3.3	Cuadros et al. (2014)
San Lucas	Granodiorita	182.1 ± 3.4	Cuadros et al. (2014)
Santa Isabel	Neis	226.7 ± 1.6	Restrepo et al. (2011)
Santa Marta milonita	Milonita	264.9 ± 4.0	Cardona et al. (2010)
Santa Marta milonita	Granito	276.5 ± 5.1	Cardona et al. (2010b)
Santa Marta milonita	Granito	288.1 ± 4.5	Cardona et al. (2010b)
Serranía de San Lucas	Granodiorita	262.9 ± 4.5	Leal-Mejía (2011)
Serranía de San Lucas	Diorita	274.5 ± 5.3	Leal-Mejía (2011)
Serranía de San Lucas	Neis	277.3 ± 3.0	Restrepo et al. (2011)
Serranía de San Lucas	Neis migmatítico	281.5 ± 4.4/-4.5	Leal-Mejía (2011)
Sierra Nevada de Santa Marta	Ortoneis	274.8 ± 2.1	Piraquive (2017)
Stock de Rovira	Monzogranito	262.7 ± 2.1	Rodríguez-García et al (2019)
Stock de Rovira	Dacita	274.9 ± 1.4	Rodríguez-García et al (2019)
Tierradentro	Anfibolita	234.1 ± 5.3	Bustamante et al. (2017)
Tierradentro	Ortoneis	244.3 ± 4.8	Bustamante et al. (2017)
Tierradentro	Ortoneis	271.3 ± 1.3	Bustamante et al. (2017)
UMV Granito La Plata	Granofels	268.3 ± 2.0	Rodríguez et al. (2017)

#### 4.2.1. Sierra Nevada de Santa Marta

Las rocas encontradas en la Sierra Nevada de Santa Marta corresponden a neises cuarzofeldespáticos, algunos con silimanita, cordierita y hornblenda, anfibolitas, migmatitas, esquistos, mármoles, granodioritas, cuarzomonzonitas y granitos alcalinos con variaciones a tonalita (Cardona et al., 2010; Mora-Bohórquez 2017). Las edades U-Pb obtenidas por Cardona et al. (2010), interpretadas como edades de cristalización varían entre 276 a 288 Ma y de metamorfismo de 264.9 ± 4.0 Ma. Edades muy parecidas a las obtenidas por Piraquive. (2017) varían entre 233- 274 Ma. (Figura 3).

Las edades U-Pb obtenidas por Piraquive. (2017) fueron de 274.8 ± 2.1 Ma para el neis del Encanto, de 261 a 283 Ma para los esquistos de la Gaira y de 224 a 241 Ma para las milonitas de La Secreta (Figura 3).

#### **4.2.2. Macizo de Garzón.**

Las rocas Triásicas encontradas en el Macizo de Garzón corresponden a rocas volcánicas que junto con sedimentos Paleozoicos están en contacto discordante con el basamento Precámbrico; y son intruidos por granitos Jurásicos (Kroonenberg, 1982), como el Granito de Garzón.

#### **4.2.3. Cordillera Central**

El complejo Cajamarca está ubicado en la Cordillera Central de Colombia (Figura 2), es denominado un paquete metamórfico de grado alto-medio compuesto por esquistos cuarzo-sericíticos, esquistos verdes, filitas, cuarcitas y algunos mármoles. Este cuerpo está limitado por 2 fallas; al occidente por una falla que pone en contacto este complejo con el complejo de Quebradagrande (rocas vulcano-sedimentarias de edad Cretácica: Maya y González, 1995) y al oriente por la falla Chapetón-Pericos, que lo pone en contacto con el Batolito de Ibagué (Maya and González, 1995). Las edades U-Pb obtenidas por Cochrane et al. (2014), interpretadas como edades de metamorfismo, varían entre 234 a 245 Ma. Edades muy parecidas a las reportadas por Villagómez et al. (2011a) que varían 231 a 238 Ma y que son interpretadas como edades de cristalización (Figura 3).

El complejo Tierradentro se encuentra en la Cordillera Central de Colombia y está limitado al oeste por la falla Otú-Pericos (Figura 2). Esta unidad está compuesta por lentes discontinuos de orto y paragneises, anfibolitas, granulitas y mármoles (Bustamante et al., 2017). Las edades de U-Pb obtenidas por Bustamante et al. (2017) varían entre 234 a 271 Ma, interpretadas como edades de cristalización (Figura 3).

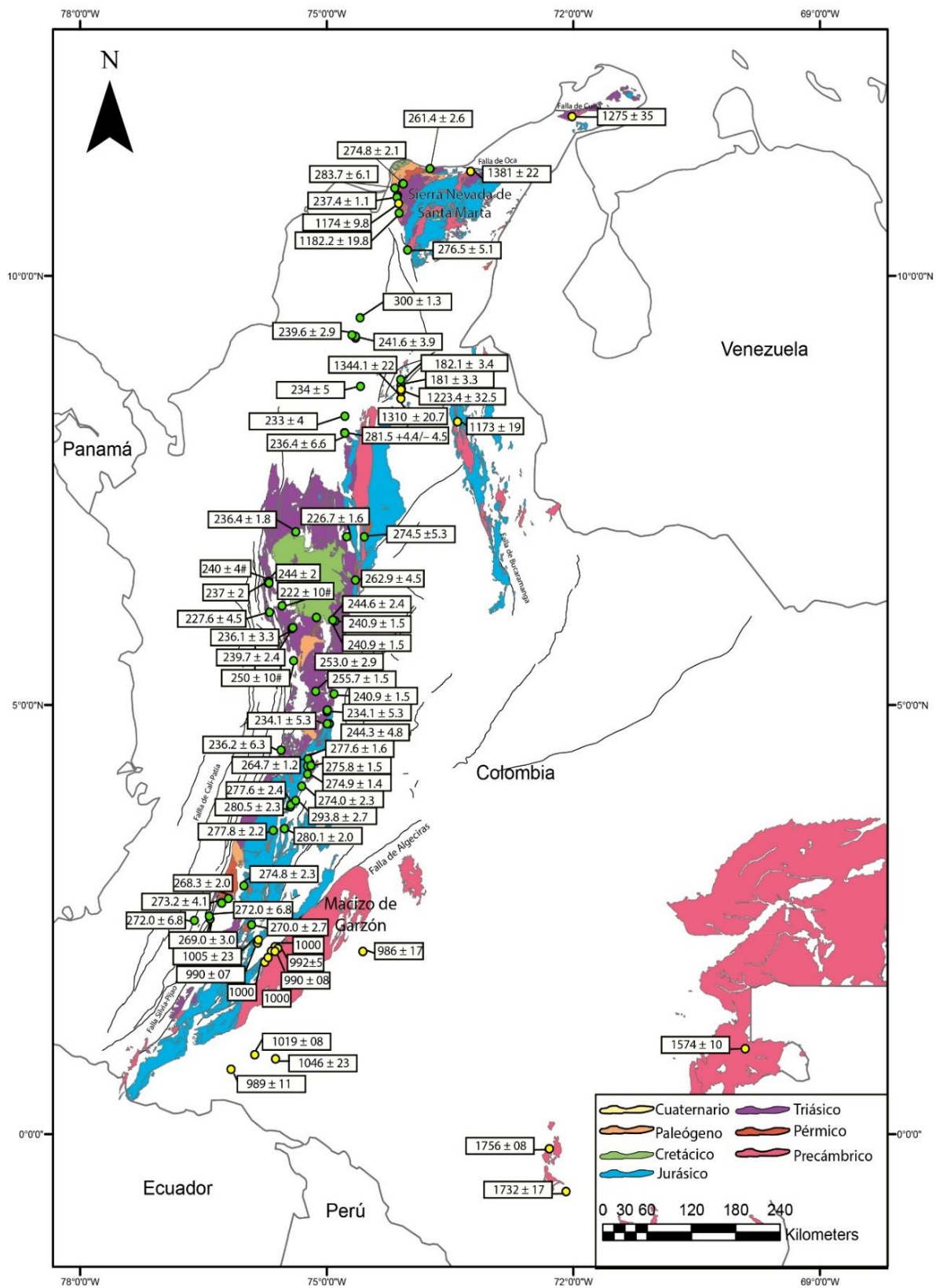
La Serranía de San Lucas está conformada por neises y anfibolitas (Cuadros et al., 2014). El neis es de grano medio a grueso, bandeado debido a la disposición de la clorita, hornblenda y biotita, los minerales opacos más comunes son magnetita e ilmenita y las texturas presentadas xenoblástica y equigranular. Las rocas metamáficas tienen como paragénesis mineral: plagioclase, hornblenda, biotita, ortopiroxeno, clinopiroxeno, apatito y óxidos de hierro (Cuadros et al., 2014). Las anfibolitas están compuestas por plagioclase y hornblenda (Cuadros et al., 2014). Las edades U-Pb obtenidas por Leal-Mejía et al. (2011) varían entre

262 a 281 Ma, mientras que la obtenida por Restrepo et al. (2011) fue de  $277.3 \pm 3.0$  Ma, edad interpretada de cristalización (Figura 3).

El complejo Rovira está ubicado en la Cordillera Central de Colombia (Figura 2), está compuesta por granitos, granodioritas, tonalitas y gabros. Son intrusiones Pérmicas calcoalcalinas, metaluminosas y ligeramente peraluminosas, formadas durante la subducción de la corteza oceánica bajo la margen occidental de Pangea (Spikigns & Paul, 2019). Las edades U-Pb obtenidas por Cochrane et al. (2014b) varían entre 255 a 277 Ma, interpretadas como edades de metamorfismo. Estas edades son muy parecidas a la obtenida recientemente por Paul et al. (2018) de  $253.0 \pm 2.9$  Ma (Figura 3).

Luego de realizar la compilación de las edades U-Pb disponibles en la Cordillera Central de Colombia y ubicar estas edades geográficamente en un mapa, se puede comparar este con el mapa realizado por Kroonenberg (1982). En la parte norte se encuentra la Sierra Nevada de Santa Marta, cuyas edades son similares en ambos modelos. Estas edades incluyen bloques Proterozoicos, como las Granulitas Los Mangos, bloques Permo-Triásicos como el Neis de Buriticá, bloques Jurásicos como los batolitos Central y Aracataca, y cuerpos intrusivos posteriores del Eoceno. En los bloques correspondientes a la Cordillera Central, se puede apreciar diferencias en cuanto a las edades de estos; mientras que Kroonenberg 2019, propone el complejo Tierradentro de edad Proterozoica, las edades U-Pb sugieren una formación posterior de ~244 Ma (Triásico). Para las demás unidades que conforman la Cordillera Central como el complejo Cajamarca se observan edades similares. Por último, en el sur se encuentra el Macizo de Garzón, en el cual se obtuvieron edades mayores de ~1000 Ma, en ambos modelos, para las unidades de las Granulitas Vergel, el Neis de Guapotón y las Migmatitas las Margaritas.





*Fig. 3 Edades U-Pb Permo-Triásicos y Precámbricas.*

## 5. Discusión

Los tipos de roca predominantes de edad Precámbrica en los Andes de Colombia incluyen granulitas, neises, anfibolitas y migmatitas (Figura 4A) (Kroonenberg 1982; Jiménez-Mejía et al., 2006; Ibáñez-Mejía et al., 2011; Cuadros et al., 2014; Cordani et al., 2005; Cardona et al., 2010). Teniendo en cuenta las edades reportadas, especialmente por el método U-Pb en circones, estas se encuentran distribuidas de la siguiente manera: en la Península de la Guajira (Cordani et al., 2005), en la Sierra Nevada de Santa Marta (Cardona et al., 2010; Cordani et al., 2005), en el Macizo de Santander (Cordani et al., 2005), en la Serranía de San Lucas (Cuadros et al., 2014), en el Macizo de Garzón (Jiménez-Mejía et al., 2006; Ibáñez-Mejía et al., 2011) y una importante porción en la cuenca de Putumayo (Figura 4B) (Ibáñez-Mejía et al., 2011). Lo que contrasta con la distribución planteada por diferentes autores en trabajos recientes (e.g. Kroonenberg, 2019; Cediel et al., 2019; Moreno-Sánchez et al., 2020).

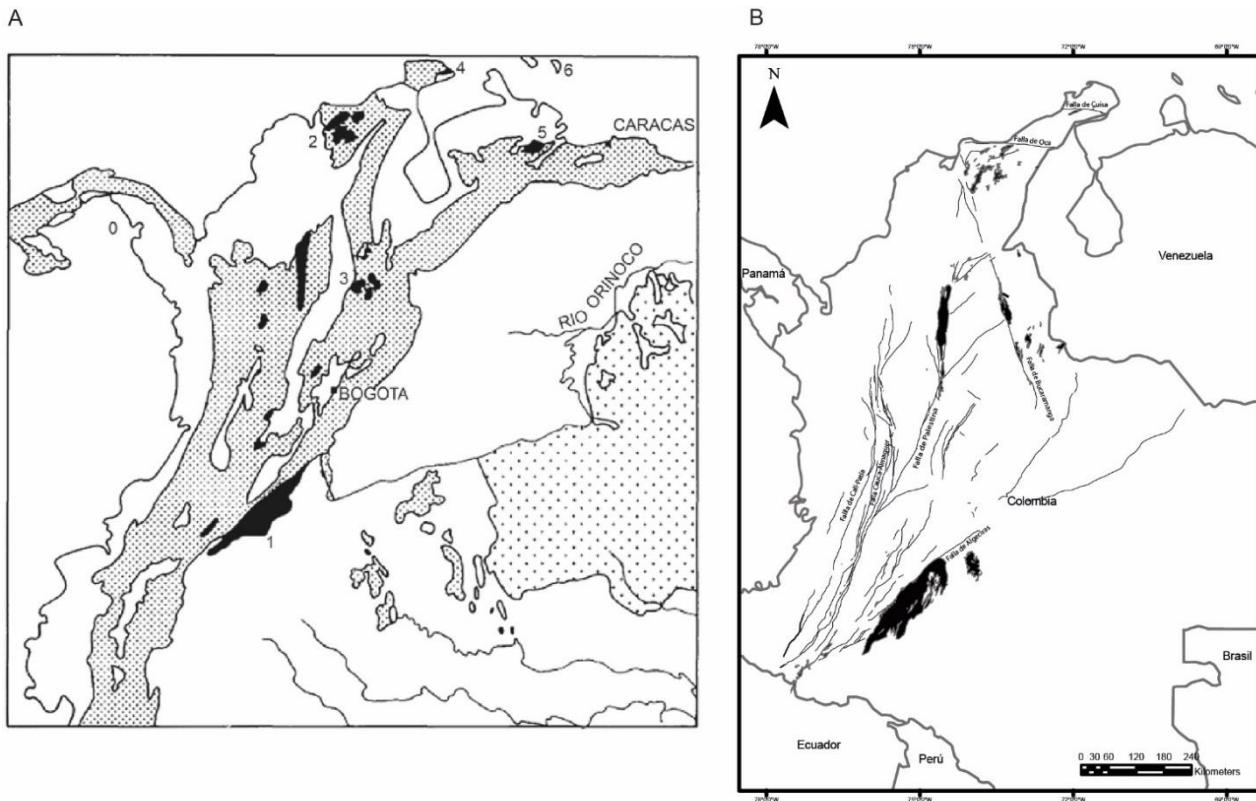


Fig. 4. (A) Afloramientos Grenvillianos (Kroonenberg 1982); (B) Recopilación de Edades U-Pb Grenvillianas.

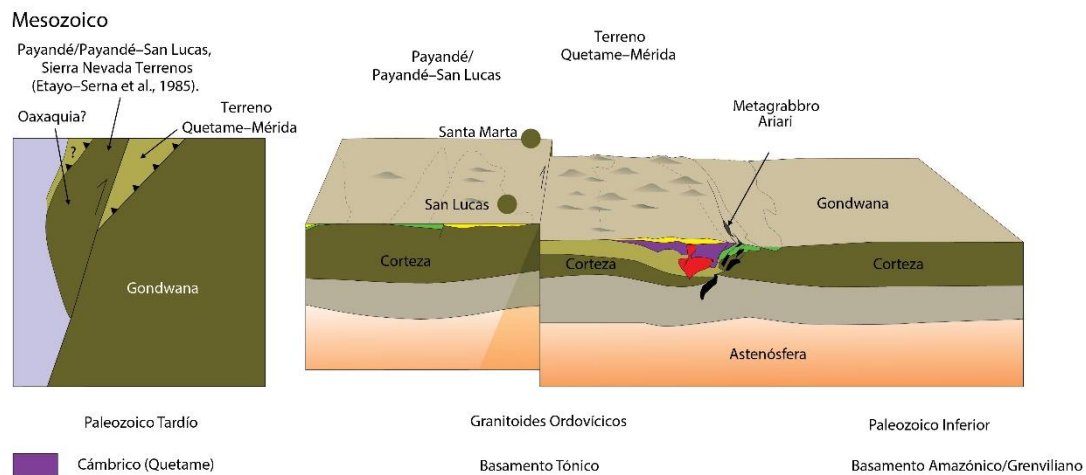


Fig. 5 Modelo tectónico de formación de las rocas Precámbricas. Modificado de Moreno-Sánchez et al., (2020)

Las rocas Precámbricas formadas durante la Orogenia Grenvilliana (ca. 1.0 Ga) son principalmente de alto grado de metamorfismo y fueron formadas por la colisión entre Laurentia y Amazonia durante la conformación del supercontinente Rodinia (McLelland et al., 2010;). Algunos bloques como el Macizo de Santa Marta, la Península de la Guajira y el Macizo de Santander se consideran de origen autóctono, formados bajo condiciones de temperatura entre 600-800° C y presiones de 4-7.6 Kbar (Restrepo-Pace et al., 1997; Cediell et al., 2003; Cardona-Molina et al., 2006), por el contrario, el Macizo de Garzón se considera autóctono a la margen noroccidental de Amazonia, relacionado con la provincia Sunsás del Cratón Amazónico (Toussaint, 1993; Ordoñez-Carmona et al., 2006; Priem et al., 1989). Las rocas metamórficas del Macizo de Garzón fueron formadas bajo condiciones de temperatura entre 700 y 780 °C y 6.2 a 7.2 Kbar de presión (Jiménez-Mejía et al., 2006).

La distribución de las rocas Permo-Triásicas es similar a la de las rocas Precámbricas, y se encuentran en gran parte de la Cordillera Central y constan principalmente de granitoides, anfibolitas, granulitas, neises, mármoles, esquistos y cuarcitas (Figura 3) (Restrepo et al., 2011; Cochrane et al., 2014b; Paul et al., 2018; Villagómez et al., 2011; Vinasco et al., 2006; Martens et al., 2014; Bustamante et al., 2017; Leal-Mejía et al., 2011; Rodríguez-García et al., 2019). Su origen está ligado al magmatismo de arco que se desarrolló durante el Pérmico, junto con la evolución de una zona de subducción activa a lo largo de la margen Pacífica que terminó en el posterior ensamblaje de Pangea (Cardona et al., 2010; Vinasco et al., 2006). El mismo origen magmático es

propuesto para las rocas al noroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta (Cardona et al., 2010), donde se puede ver la evolución de los granitoides tipo I (Pérmicos) formados en las primeras etapas del arco hasta los granitoides tipo S (Triásicos) formados en etapas de posteriores de crecimiento del arco (Ordoñez-Carmona y Pimentel, 2002; Vinasco et al., 2006; Cardona et al., 2010). A pesar de esto, el modelo propuesto por Moreno-Sánchez et al. (2020) (Figura 5) considera que las rocas del este de la Cordillera Central; pertenecientes al Terreno Chibcha occidental; compuesto por rocas siliciclásticas marinas del Ordovícico, depositadas inconformemente sobre rocas Precámbricas que conforman el basamento del valle del Magdalena, estuvieron influenciadas por el evento colisional asociado con la Orogenia Grenvilliana, al igual que el Macizo de Garzón y la Sierra Nevada de Santa Marta (Kroonenberg, 1982; Ordoñez-Carmona et al., 1999; Restrepo-Pace et al., 1997), tomando como válida para dicho modelo la única una edad radiométrica disponible de  $1360 \pm 270$  Ma por el método K-Ar la unidad de Neises y Anfibolitas de Tierradentro (Barrero y Vesga, 1976; Marquínez y Núñez, 1998; Vesga y Barrero 1978); ubicada al este de la falla Otú-Pericos. Sin embargo, edades U-Pb en circones en anfibolitas, neises y migmatitas que varían entre en Pérmico y Triásico (270-270 Ma) fueron reportadas por Cochrane et al. (2014) y Bustamante et al. (2017). Dichas edades fueron descartadas por Moreno-Sánchez et al. (2020) debido a posibles alteraciones en el sistema U-Pb como producto de metasomatismo, exhumación y erosión. Sin embargo, es sabido que estos procesos no llegan a la temperatura necesaria para abrir el sistema de los circones, que es alrededor de  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Harley y Kelly, 2007), además de que los procesos de erosión y exhumación están relacionados a decrecimiento de la temperatura y no al contrario, por lo tanto, este argumento no sería válido para suponer que las edades U-Pb en circón Permo-Triásicas al este de la falla Otú-Pericos sean cuestionables. Por otro lado, los gráficos de concordia que muestran Cochrane et al. (2014) y Bustamante et al. (2017) no muestran pérdidas de plomo. De igual forma, el metasomatismo sugerido por Moreno-Sánchez et al. (2020) como posible mecanismo de alteración de la edad de los circones es cuestionable si se tiene en cuenta que: 1) éste alcanzó una temperatura máxima de  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  debido a que formó principalmente flogopita en rocas calcosilicatadas (Hernández y Urueña, 2017), 2) una vez más, esta temperatura está por debajo de la necesaria para

generar pérdidas de plomo en circones (Harley y Kelly, 2007) y 3) dicho metasomatismo está reportado en rocas carbonatadas impuras localizada en el departamento de Huila (Hernández y Urueña, 2017), y este tipo de metamorfismo ocurre a escala local, no regional.

Según lo anterior, los datos geocronológicos recientes compilados en este trabajo tendrían implicaciones en la concepción del concepto de terrenos tectonoestratigráficos; definidos como un fragmento de la litosfera limitado por fallas que tienen una historia y génesis geológica diferente a los bloques adyacentes (Berg, 1980; Howell, 1989). En Colombia se han planteado diferentes modelos de terrenos (e.g. Etayo et al. 1986; Restrepo y Toussaint, 1988; 2020 y Cediel et al., 2003), que difieren principalmente en los límites y en la nomenclatura. Inicialmente Restrepo y Toussaint (1988) definieron el Terreno Tahamí; en la Cordillera Central, limitado al este por la Falla Otú-Pericos y al oeste por la Falla de San Jerónimo. Este terreno está compuesto por un basamento metamórfico Permo-Triásico (Ordoñez-Carmona, 2001; Vinasco et al., 2006) intruidos por batolitos Cretácicos (Ordoñez-Carmona et al., 2006b). También definieron el terreno Chibcha; al este del terreno Tahamí y limitados por la falla Otú-Pericos, como el formado por rocas metamórficas Grenvillianas y separado del Cratón Amazónico al este por el sistema de falla del Guaicaramo (Restrepo y Toussaint, 1988; Ordoñez-Carmona et al., 2006b). Recientemente Restrepo y Toussaint (2020) definen un nuevo terreno para la parte sur de la Cordillera Central, denominado Terreno Yalcón, caracterizado por un metamorfismo Jurásico contemporáneo con un fuerte magmatismo representado en las intrusiones de grandes batolitos como el de Ibagué y Mocoa, además mantienen la falla Otú-Pericos como el límite entre los terrenos Tahamí y Chibcha. Sin embargo, los datos geocronológicos compilados muestran la existencia de rocas Permo-Triásicas al este de la falla Otú-Pericos (Cochrane et al., 2014b; Rodríguez-García et al., 2019), en lo que correspondería al terreno Chibcha, de edad Precámbrica (Restrepo y Toussaint, 1988; 2020); esto implicaría una posible redefinición de este terreno, ubicando el límite entre el terreno Tahamí y el Chibcha al este de la falla Otú-Pericos.

Cediel et al. (2003) por su parte llama terreno Cajamarca-Valdivia a las rocas de la Cordillera Central formadas durante el Paleozoico temprano, y al este;

limitados por la falla de Palestina, define como terreno Chicamocha a las rocas Precámbricas formadas durante la orogenia Grenville. Al igual que en el modelo de Restrepo y Toussaint (2020), los datos que muestran edades Permo-Triásicas (Cochrane et al., 2014b; Rodríguez-García et al., 2019) al este de la falla de Palestina, representan una evidencia geocronológica que permite plantear una posible redefinición del terreno Cajamarca-Valdivia, situando el límite no propiamente en la falla Palestina, sino probablemente en otra falla al este de ella. Se cuestiona entonces en este trabajo si la configuración tectónica de Colombia puede y necesita ser explicada a partir de una visión de terrenos tectonoestratigráficos, dada la discrepancia que hay entre los límites de terrenos propuestos por los diferentes autores anteriormente mencionados con los datos geoquímicos y geocronológicos, entre otros.

### **5.1. Implicaciones en la configuración paleogeográfica en Colombia**

Habiendo discutido la distribución de las rocas Proterozoicas y Permo-Triásicas en los Andes colombianos, y las implicaciones que esto tiene para la distribución de terrenos en Colombia, así como de la posible sobreestimación de la extensión del Proterozoico en la Cordillera Central, se analiza aquí la implicación paleogeográfica que se puede obtener de este análisis.

La propuesta del Cinturón Granulítico Garzón-Santa Marta; que incluye la parte oriental de la Cordillera Central, es propuesto de edad Grenvilliana (Kroonenberg 1982; 2019), lo que significaría que estas unidades Precámbricas fueron formadas en el núcleo del supercontinente Rodinia, producto de colisiones continentales entre Laurentia, Amazonia y Báltica hace ca. ~ 1300 y 1000 Ma durante el Proterozoico (Figura 6A) (McLelland et al., 2010). Sin embargo, la distribución de los datos geocronológicos de U-Pb muestran la presencia de rocas Pérmicas y Triásicas en el basamento de la Cordillera Central. Edades mucho más recientes que las definidas inicialmente como Precámbricas y que estarían relacionadas con el proceso de conformación del supercontinente Pangea, en un contexto tectónico asociado a arcos magmáticos formados en la margen occidental de Gondwana (Figura 6B) (Restrepo et al., 2011; Cochrane et al., 2014b; Paul et al., 2018; Villagómez et al., 2011; Vinasco et al., 2006;

Martens et al., 2014; Bustamante et al., 2017; Leal-Mejía et al., 2011; Rodríguez-García et al., 2019). Estos datos, también estarían mostrando que probablemente el Cinturón Granulítico Garzón-Santa Marta no existe como tal, sino que se trataría de bloques separados ubicados al norte; Las Granulitas Los Mangos en la Sierra Nevada de Santa Marta, en el sur de Colombia; Las Granulitas del Vergel y El Ortoneis Guapoton-Mancagua, ubicados en el Macizo de Garzón y en la parte nororiental de la Cordillera Central; en la Serranía de San Lucas (Figura 4B) (Cordani et al., 2005; Jiménez-Mejía et al., 2006; Cardona et al., 2010; Ibañez-Mejía et al., 2011; Cuadros et al., 2014). Mientras unidades de la Cordillera Central como: El complejo Cajamarca, El complejo Icarco, los neises y anfibolitas de Tierradentro, el stock de Rovira, los granitos de Ortega y La Plata, La Serranía de San Lucas y los neises de Abejorral, Palmas y Palmitas (Figura 3). están mostrando una formación durante un evento ocurrido durante el Permo-Triásico. Es importante mencionar que debido a la gran extensión de las rocas estudiadas y al alto grado de deformación que presentan, no se ha podido establecer con claridad el origen y la temporalidad de estas, y por lo tanto es necesario desarrollar más estudios de petrología metamórfica para conocer, entre otras características, las trayectorias metamórficas de estas rocas, que permitan definir con mayor certeza el tipo de metamorfismo que estas sufrieron, y así, asociarlas a un ambiente tectónico, sea de colisión, subducción o extensión.



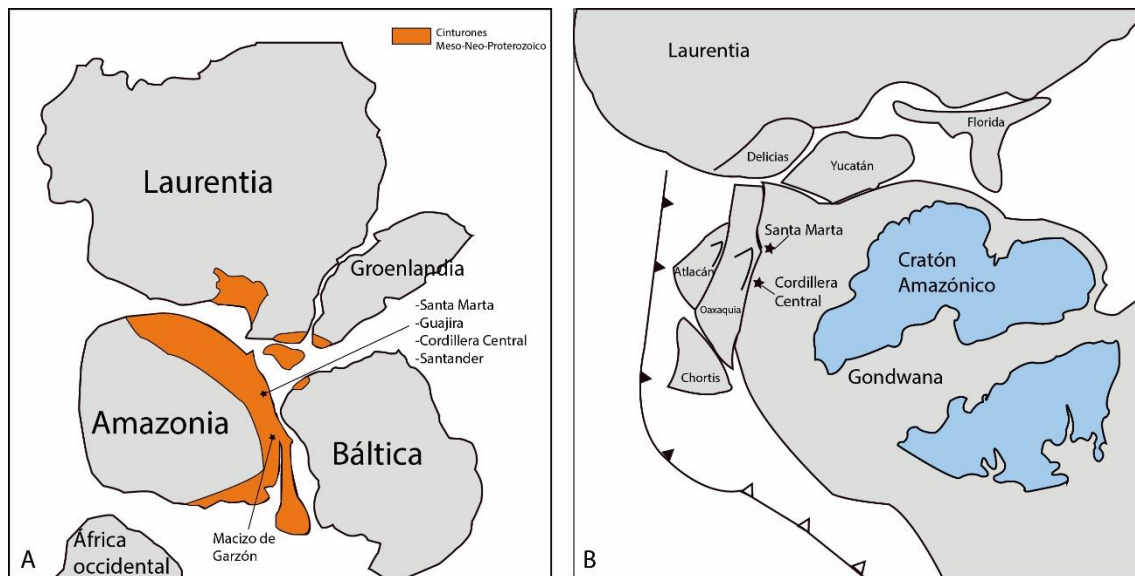


Fig. 6(A) Modelo de Formación de las rocas de la Cordillera Central durante el ensamblaje de Rodinia. Modificado de Cardona et al., (2010); (B) Modelo de Formación de las rocas de la Cordillera Central durante el ensamblaje de Pangea. Modificado de Spikings y Paul (2019).

## 6. Conclusiones

- Los datos geocronológicos de U-Pb muestran que la mayor parte del basamento de la Cordillera Central fue afectado por un evento durante el Permo-Triásico, relacionado a la conformación del supercontinente Pangea (Figura 5B), que generó episodios de metamorfismo y magmatismo en la margen occidental de Gondwana.
- En este estudio se considera como Permo-Triásica la edad de cristalización de las rocas de medio a alto grado de metamorfismo del Complejo Tierradentro, teniendo en cuenta que las condiciones de temperatura sufridas por esta unidad no fueron suficientes para alterar el sistema isotópico, contrario a lo propuesto por Moreno-Sánchez et al. (2020).
- Las rocas Grenvilianas expuestas en Colombia se localizan en la Península de la Guajira; el neis de Jojoncito, en la Sierra Nevada de Santa Marta; las Granulitas Los Mangos, en la Serranía San Lucas y en el Macizo de Garzón; las Granulitas del Vergel y el neis de Guapotón-Mancagua



- La distribución de los datos geocronológicos compilados no muestran la continuidad de un basamento Proterozoico en los Andes del norte como lo propone Kroonenberg (1982) en el denominado “Cinturón Granulítico Garzón-Santa Marta”; sino que se trataría de bloques aislados al norte y sur de Colombia.
- La presencia de rocas Permo-Triásicas al oeste de la falla Otú-Pericos, en el denominado Terreno Chibcha por Restrepo & Toussaint, (1988, 2020), Chicamocha por Cedié et al. (2003) son muestra de que los límites de los terrenos tectonoestratigráficos ameritan una revisión.

## Referencias

Alvarez, J. & U.G. Cordani 1980 Precambrian basement within the septentrional Andes: Age and geological evolution.

Barrero, D. & Vesga, C.J. 1976. Mapa geológico del cuadrángulo K–9 Armero y mitad sur del J–9 La Dorada. Scale 1:100 000. Ingeominas. Bogotá.

Bayona, G., Cardona, A., Jaramillo, C., Montes, C., Caballero, V., Mahecha, H., Lamus, F., Montenegro, O., Jiménez, G., 2013. Geological Society , London , Special Publications Online First Onset of fault reactivation in the Eastern Cordillera of Colombia and proximal Llanos Basin ; response to Caribbean – South American convergence in early Palaeogene time service Subscribe How to cite Notes Onset of fault reactivation in the Eastern Cordillera of Colombia and proximal Llanos Basin ; response to Caribbean – South American convergence in early Palaeogene time School of Earth and Environmental Sciences , Washington State University ,. <https://doi.org/10.1144/SP377.5>

Bustamante, C., Archanjo, C.J., Cardona, A., Bustamante, A. & Valencia, V.A. 2017. U–Pb ages and Hf isotopes in zircons from parautochthonous Mesozoic terranes in the western margin of Pangea: Implications for the terrane configurations in the northern Andes. *The Journal of Geology*, 125(5): 487–500. <https://doi.org/10.1086/693014>

Bustamante, C., Archanjo, C.J., Cardona, A., Bustamante, A. & Valencia, V.A. 2017. U–Pb ages and Hf isotopes in zircons from parautochthonous Mesozoic terranes in the western margin of Pangea: Implications for the terrane configurations in the northern Andes. *The Journal of Geology*, 125(5): 487–500. <https://doi.org/10.1086/693014>.

Bustamante, C., Cardona, A., Bayona, G., Mora, A., Valencia, VíctorGehrels, G., Vervoort, J., 2010. U-Pb LA-ICP-MS GEOCHRONOLOGY AND REGIONAL CORRELATION OF MIDDLE JURASSIC INTRUSIVE ROCKS FROM THE GARZON MASSIF , UPPER MAGDALENA VALLEY AND CENTRAL 32, 93–109.

Cardona, A., Chew, D., Valencia, V., Bayona, G., Miškovic, A., Ibañez-Mejía, M., 2010. *Journal of South American Earth Sciences* Grenvillian remnants in the Northern Andes : Rodinian and Phanerozoic paleogeographic perspectives, 29, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.07.011>.

Cardona, A., Valencia, V., Bustamante, C., García, A., Ojeda, G.Y., Ruiz, J., Saldarriaga, M., Weber, M., 2010b. Tectonomagmatic setting and provenance of the Santa Marta schists, northern Colombia: insights on the growth and approach of Cretaceous Caribbean oceanic terranes to the South American continent. *J. S. Am. Earth Sci.* 29, 784–804

Cardona-Molina, A., Cordani, U.G., MacDonald, W.D., 2006. Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian

Andes, Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences* 21 (4), 337–354.

Cediel, F. 2019. Phanerozoic Orogens of northwestern South America: Cordilleran-Type Orogens. Taphrogenic tectonics. The Maracaibo Orogenic Float. The Chocó–Panamá Indenter. In: Cediel, F. & Shaw, R.P. (editors), *Geology and Tectonics of northwestern South America: The Pacific–Caribbean–Andean junction*. *Frontiers in Earth Sciences*. Springer Nature Switzerland, p. 3–95. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_1).

Cediel, F., Shaw, R.P. & Cáceres, C. 2003. Tectonic assembly of the northern Andean block. In: Bartolini, C., Buffler, R.T. & Blickwede, J. (editors), *The circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 79, p. 815–848. Tulsa, USA.

Cochrane, R., Spikings, R., Gerdes, A., Ulianov, A., Mora, A., Villagómez, D., ... Chiaradia, M. (2014). Lithos Permo-Triassic anatexis, continental rifting and the disassembly of western Pangaea. *LITHOS*, 190–191, 383–402. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.12.020>.

Cordani, U.G., Cardona, A., Jimenez, D.M., Liu, D., and Nutman, A.P., 2005. Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: Tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. In: Vaughan, A.P.M., Leat, P.T., and Pankhurst, R.J. (Eds.) *Terrane Processes at the Margins of Gondwana: The Geological Society of London Special Publication*, 246, 329–346.

Cordani, U.G., Tassinari, C.C.G., Teixeira, W., Basei, M.A.S., Kawashita, K., 1979. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *Actas, PP -Ciudad Arica*.

Cordani, U.G., Teixeira, W., D'Agrella-Filho, M.S., Trindade, R.I., 2009. The position of the Amazonian Craton in supercontinents. *Gondwana Res.* 15, 396–407. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.12.005>

Cuadros, F.A., Botelho, N.F., Ordóñez–Carmona, O. & Matteini, M. 2014. Mesoproterozoic crust in the San Lucas Range (Colombia): An insight into the crustal evolution of the northern Andes. *Precambrian Research*, 245: 186–206. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.02.010>.

Duque-Caro, H. (1990). The choco block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 3(1), 71–84. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(90\)90019-W](https://doi.org/10.1016/0895-9811(90)90019-W)

Etayo–Serna, F., Barrero, D., Lozano, H., Espinosa, A., González, H., Orrego, A., Ballesteros, I., Forero, H., Ramírez, C., Zambrano–Ortiz, F., Duque–Caro, H., Vargas, R., Núñez, A., Álvarez, J., Ropaín, C., Cardozo, E., Galvis, N., Sarmiento, L., Alberts, J.P., Case, J.E., Singer, D.A., Bowen, R.W., Berger, B.R., Cox, D.P. & Hodges, C.A. 1983. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. *Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas*, 14(1), p. 1–135. Bogotá.

Feininger, T., Barrero, D. & Castro, N. 1972. Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (sub-zona II-B). Boletín Geológico, 20(2): 1–173.

Fuck, R.A., Brito Neves, B.B., Schobbenhaus, C., 2008. Rodinia descendants in South America. Precambrian Research 160, 108–126.

González, H., 2001. Mapa Geológico del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Medellín.

González, H., 2001. Mapa Geológico del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria explicativa. Ingeominas, Medellín.

Harley, S. L., & Kelly, N. M. (2007). Zircon, Tiny but Timely.

Harrison, T.M., Schmitt, A.K., McCulloch, M.T., Lovera, O.M., 2008. Early ( $\geq 4.5$  Ga) formation of terrestrial crust: Lu-Hf,  $\delta^{18}\text{O}$ , and Ti thermometry results for Hadean zircons. Earth Planet. Sci. Lett. 268, 476–486.

<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.02.011>

Hernández–González, J.S. & Urueña–Suárez, C.L. 2017. Aspectos geocronológicos y petrogenéticos del Complejo Aleluya: Implicaciones en la exploración de Mg en el norte del departamento del Huila, Colombia. XVI Congreso Colombiano de Geología y III Simposio de Exploradores. Memoirs, p. 832– 838. Santa Marta.

Higgs, Roger. (1997). Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: Discussion. Aapg Bulletin - AAPG BULL. 81. 10.1306/522B4DF7-1727-11D7-8645000102C1865D.

Hoffman, P.A., 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? Science 252, 1409–1411.

Hynes, A., Rivers, T., 2010. Protracted continental collision – evidence from the Grenville orogen. Can. J. Earth Sci. 47, 591–620.

Ibanez–Mejía, M., Ruiz, J., Valencia, V.a., Cardona, A., Gehrels, G.E. & Mora, A.R. 2011. The Putumayo Orogen of Amazonia and its implications for Rodinia reconstructions: New U–Pb geochronological insights into the Proterozoic tectonic evolution of northwestern South America. Precambrian Research, 191(1– 2): 58–77. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2011.09.005>.

James M. McLelland, Bruce W. Selleck, M.E. Bickford, 2010. "Review of the Proterozoic evolution of the Grenville Province, its Adirondack outlier, and the Mesoproterozoic inliers of the Appalachians", From Rodinia to Pangea: The Lithotectonic Record of the Appalachian Region, Richard P. Tollo, Mervin J. Bartholomew, James P. Hibbard, Paul M. Karabinos.

Jiménez–Mejía, D.M., Juliani, C. & Cordani, U.G. 2006. P–T–t conditions of high–grade metamorphic rocks of the Garzón Massif, Andean basement, SE

Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4): 322–336.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.001>.

Kemp, A.I.S., Wilde, S.A., Hawkesworth, C.J., Coath, C.D., Nemchin, A., Pidgeon, R.T., Vervoort, J.D., DuFrane, S.A., 2010. Hadean crustal evolution revisited: New constraints from Pb-Hf isotope systematics of the Jack Hills zircons. *Earth Planet. Sci. Lett.* 296, 45–56.  
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.04.043>

Kroonenberg, S. & Diederix, H. 1992. Geology of the uppermost Magdalena Valley, 21th Field Conference. In: Geotec Ltda. (editor), *Geological field-trips: Colombia 1980–1989*. Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo, p. 73–89. Bogotá.

Kroonenberg, S.B., 1982. A Grenvillian granulite belt in the Colombian Andes and its relation to the Guiana Shield. *Geol. en Mijnb.* 61, 325–333.

Kroonenberg, S.B., 2019. The proterozoic basement of the western guiana shield and the northern Andes. In: Cedié, F., Shaw, R.P. (Eds.), *Geology and Tectonics of Northwestern South America*. Springer International Publishing, Cham, pp. 115–192. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_3).

Leal-Mejía, H. 2011. Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: A tectono–magmatic approach. Doctorate thesis, Universitat de Barcelona, 989 p. Barcelona.

Litherland, M., Power, P.E.J., 1989. The geologic and geomorphologic evolution of Serrania Huanchaca, eastern Bolivia: the legendary “Lost World”. *Journal of South American Earth Sciences* 2 (1), 1–17

Marquínez, G. & Núñez, A. 1998. Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia: Neises y Anfibolitas de Tierradentro, cordillera Central. Ingeominas, 26 p. Bogotá.

Martens, U., Restrepo, J. J., Ordóñez-carmona, O., María, A., Martens, U., Julia, J., & Mari, A. (2014). The Tahamí and Anaconda Terranes of the Colombian Andes : Missing Links between the South American and Mexican Gondwana Margins The Tahamí ´ and Anaconda Terranes of the Colombian Andes : Missing Links between the South American and Mexican Gondwana Margins, 122(5), 507–530. <https://doi.org/10.1086/677177>

Maya, M., González, H., 1995. Unidades Litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. In: Informe Unidad Operativa Medellín, INGEOMINAS, pp. 44–57.

McLelland, J.M., Selleck, B.W., Bickford, M.E., 2010. Review of the Proterozoic evolution of the Grenville province, its Adirondack outlier, and the Mesoproterozoic inliers of the Appalachians. In: Tollo, R.P., Bartholomew, M.J., Hibbard, J.P., Karabinos, P.M. (Eds.), *From Rodinia to Pangea: the Lithotectonic Record of the Appalachian Region*. In: *Geological Society of America Memoir*, vol. 206, pp. 21–49.

McLelland, J.M., Selleck, B.W., Bickford, M.E., 2013. Tectonic evolution of the Adirondack mountains and the Grenville Orogen inliers within the USA. *Geosci. Can.* 40, 318–352.

Mojica, J., Villaroel, C., Macia, C., 1987. Nuevos afloramientos fósilíferos del Ordovícico Medio (Fm El Higado) al oeste de Tarqui, valle superior del Magdalena (Huila, Colombia). *Geologia Colombiana* 16, 95–97.

Montes, C., Guzman, G., Bayona, G., Cardona, A., Valencia, V., Jaramillo, C., 2010. Clockwise rotation of the Santa Marta Massif and simultaneous Paleogene to Neogene deformation of the Plato-San Jorge and Cesar-Ranchería basins. *J. S. Am. Earth Sci.* 29, 832–848.

Mora, A., Horton, B.K., Mesa, A., Rubiano, J., Ketcham, R.A., Parra, M., Blanco, V., Garcia, D., Stockli, D.F., 2010. Migration of Cenozoic deformation in the Eastern Cordillera of Colombia interpreted from fission track results and structural relationships: Implications for petroleum systems 10, 1543–1580. <https://doi.org/10.1306/01051009111>

Mora-Bohórquez, J.A., Ibañez -Mejía, M., Oncken, O., de Frietas, M., Vélez, V., Mesa, A., Serna, L., 2017. Structure and age of the lower Magdalena Valley basin basement, northern Colombia: new reflection-seismic and U-Pb-Hf insights into the termination of the central Andes against the Caribbean basin. *J. S. Am. Earth Sci.* 74, 1–26.

Moreno-Sánchez, M., Gómez-Cruz, A. & Buitrago-Hincapié, J. 2020. Paleozoic of Colombian Andes: New paleontological data and regional stratigraphic review. In: Gómez, J. & Mateus-Zabala, D. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 1 Proterozoic – Paleozoic*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 35, 37 p. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.35.2019.09>.

Mosher, S., 1998. Tectonic evolution of the southern Laurentian Grenville orogenic belt 1357–1375.

Mosher, S., Levine, J.S.F., Carlson, W.D., 2008. Mesoproterozoic plate tectonics: A collisional model for the Grenville-aged orogenic belt in the Llano uplift, central Texas. *Geology*. 36, 55–58

Ordóñez-Carmona, O. & Pimentel, M.M. 2002. Rb–Sr and Sm–Nd isotopic study of the Puquí Complex, Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2): 173–182. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\) 00017-2](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02) 00017-2).

Ordóñez-Carmona, O. 2001. Caracterização isotópica Rb–Sr e Sm–Nd dos principais eventos magmáticos nos Andes colombianos. Doctorate thesis, Universidade de Brasília, 176 p. Brasília.

Ordóñez-Carmona, O., Pimentel, M.M., de Moraes, R. & Restrepo, J.J. 1999. Rocas Grenvillianas en la región de Puerto Berrío– Antioquia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23(87): 225–232.

Ordóñez-Carmona, O., Restrepo Álvarez, J.J., Pimentel, M.M., 2006b. Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. *J. South Am. Earth Sci.* 21, 372–382. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.005>.

Ordóñez-Carmona, O., Restrepo, J.J., Pimentel, M.M., 2006a. Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. *J. South Am. Earth Sci.* 21, 372e382.

Ozawa, A., Tagami, T., Garcia, M., 2005. Unspiked K–Ar dating of the Honolulu rejuvenated and Koolau shield volcanism on Oahu. Hawaii. *Earth Planet. Sci. Lett.* 232, 1–11

Pidgeon, R.T., Nemchin, A.A., Whitehouse, M.J., 2017. The effect of weathering on U–Th–Pb and oxygen isotope systems of ancient zircons from the Jack Hills, Western Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta* 197, 142–166. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.10.005>

Piraquive, A. 2017. Structural framework, deformation and exhumation of the Santa Marta Schists: Accretion and deformational history of a Caribbean Terrane at the north of the Sierra Nevada de Santa Marta. Doctorate thesis, Université Grenoble Alpes and Universidad Nacional de Colombia, 393 p. Grenoble–Bogotá.

Priem, H.N.A., Kroonenberg, S.B., Boelrijk, N.A.I.M. & Hebeda, E.H. 1989. Rb–Sr and K–Ar evidence for the presence of a 1.6 Ga basement underlying the 1.2 Ga Garzón–Santa Marta granulite belt in the Colombian Andes. *Precambrian Research*, 42(3–4): 315–324. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(89\)90016-8](https://doi.org/10.1016/0301-9268(89)90016-8).

Ramirez-Arias, J. C., Mora, A., Rubiano, J., Duddy, I., Parra, M., Moreno, N., ... Casallas, W. (2012). The asymmetric evolution of the Colombian Eastern Cordillera. Tectonic inheritance or climatic forcing? New evidence from thermochronology and sedimentology. *Journal of South American Earth Sciences*, 39, 112–137. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.04.008>.

Ramos, V.A., 2010. The Grenville-age basement of the Andes. *J. South Am. Earth Sci.* 29, 77–91. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.09.004>.

Restrepo, J., Ordóñez-carmona, O., Armstrong, R., & Pimentel, M. M. (2011). Journal of South American Earth Sciences Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the central cordillera of Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4), 497–507. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.04.009>

Restrepo, J.J. & Toussaint, J.F. 1988. Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. *Episodes*, 11(3): 189–193.

Restrepo, J.J. & Toussaint, J.F. 2020. Tectonostratigraphic terranes in Colombia: An update. First part: Continental terranes. In: Gómez, J. & Mateus–Zabala, D. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 1 Proterozoic – Paleozoic*. Servicio



Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 35, 27 p. Bogotá.  
<https://doi.org/10.32685/pub.esp.35.2019.03>

Restrepo–Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G. & Cosca, M. 1997. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville–age rocks in the Colombian Andes: New constraints for late Proterozoic – early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Science Letters*, 150(3–4): 427–441. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(97\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00091-5)

Rivers, T., 1997. Lithotectonic elements of the Grenville Province: Review and tectonic implications. *Precambrian Res.* 86, 117–154.  
[https://doi.org/10.1016/s0301-9268\(97\)00038-7](https://doi.org/10.1016/s0301-9268(97)00038-7).

Rivers, T., 2008. Assembly and preservation of lower, mid, and upper orogenic crust in the Grenville Province – implications for the evolution of large hot longduration orogens. *Precambrian Res.* 107, 237–259. Rivers, T., 2015. Tectonic setting and evolution of the Grenville Orogen: an assessment of progress over the last 40 years. *Geosci. Can.* 43, 77–124.

Rodríguez, G., Obando, G., Correa–Martínez, A.M., Zapata, G. Correa, T., Obando, M., Rincón, A. & Zapata, J.P. 2017. Redefinición del bloque norte del Batolito de Ibagué con base en nuevos datos de petrografía, litogeoquímica y geocronología U–Pb. XVI Congreso Colombiano de Geología. *Memoirs*, p. 1437–1442. Santa Marta.

Rodríguez–García; G.; Correa–Martínez; A.M.; Zapata–Villada; J.P. & Obando–Erazo; G. 2019. Fragments of a Permian arc on the western; The Geology of Colombia; Volume 1 Proterozoic – Paleozoic. Servicio Geológico; Publicaciones Geológicas Especiales 35; 34 p. Bogotá. <https://doi.org/10.32685>.

Santos, J.O.S., Potter, P.E., Reis, N.J., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R., McNaughton, N.J., 2003. Age, source, and regional stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like outliers in northern South America based on U–Pb geochronology. *Bull. Geol. Soc. Am.* 115, 331–348. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2003\)115<0331:ASARSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2003)115<0331:ASARSO>2.0.CO;2)

Santos, S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., Mcnaughton, N.J., Fletcher, I.R., 2000. Schneider Santos et al., 2000. A new understanding of provinces of the amazon craton based on integration of filed mapping and U–Pb geochronology.pdf.

Siravo, G., Faccenna, C., G rault, M., Becker, T.W., Fellin, G., Herman, F., Molin, P., 2019. Slab flattening and the rise of the Eastern Cordillera, Colombia. *Earth Planet. Sci. Lett.* 512, 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.02.002>

Spikings, R., & Paul, A. (2019). The Permian – Triassic history of magmatic rocks of the northern Andes (Colombia and Ecuador): Supercontinent assembly and disassembly, 2.

Tassinari, C.C.G. and Macambira, M.J.B. (1999) Geological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v. 22, pp 173-182.



Tassinari, C.C.G., Cordani, U.G., Nutman, A.P., Van Schmus, W.R., Bettencourt, J.S., Taylor, P.N., 1999. Geochronological systematics on basement rocks from the río negro-juruena province (amazonian craton) and tectonic implications. *Int. Geol. Rev.* 38, 161–175. <https://doi.org/10.1080/00206819709465329>

Tohver, E., Bettencourt, J.S., Tosdal, R., Mezger, K., Leite, W.B., Payolla, B.L., 2004. Terrane transfer during the Grenville orogeny: tracing the Amazonian ancestry of southern Appalachian basement through Pb and Nd isotopes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 228, 161–176. <https://doi.org/10.1016/J.EPSL.2004.09.029>.

Toussaint, J. F. (1996). "Evolución Geológica de Colombia, Cretácico. ." Universidad Nacional de Colombia. Medellín.: 142.

Toussaint, J.F., 1993. Evolución geológica de Colombia. Precámbrico–Paleozóico. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 129p.

Tschanz, C.M., Marvin, R.F., Cruz, J., Mehnert, H.H., Cebula, G.T., 1974. Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, northeastern Colombia. *Geol. Soc. Am. Bull.* 85, 273–284.

Vesga, C.J. & Barrero, D. 1978. Edades K/Ar en rocas ígneas y metamórficas de la cordillera Central de Colombia y su implicación geológica. II Congreso Colombiano de Geología. Abstracts, p. 19. Bogotá.

Villagómez, D., Spikings, R., 2013. Lithos Thermochronology and tectonics of the Central and Western Cordilleras of Colombia: Early Cretaceous – Tertiary evolution of the Northern Andes. *LITHOS* 160–161, 228–249. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.12.008>

Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., Beltrán, A., 2011a. Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. *Lithos* 125, 875–896.

Vinasco, C.J., Cordani, U.G., Gonza, H., 2006. Geochronological, isotopic , and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes 21, 355–371. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.007>

Ward, D., Goldsmith, R., Restrepo, J., A.C., Restrepo, H., Gómez, E., 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. *Bol. Geol.* 21, 1–132.

Yamasaki, S., Sawada, R., Ozawa, A., Tagami, T., Watanabe, Y., Takahashi, E., 2011. Unspiked K-Ar dating of Koolau lavas, Hawaii: Evaluation of the influence of weathering/alteration on age determinations. *Chem. Geol.* 287, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.05.003>

Yañez, P., Ruiz, J., Patchett, P.J., Ortega-Gutiérrez, F., Gehrels, G.E., 1991. Isotopic studies of the Acatlan complex, southern Mexico: implications for Paleozoic North American tectonics. *Bulletin Geological Society of America* 103, 817–828.